

УДК 621.57

**В.Е. Козут, М.Г. Хмельнюк, Е.Д. Бутовский**

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, 65082

**ОХЛАЖДАЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНДЕНСАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОТОКЕ**

*В статье рассматривается холодильная система, предназначенная для конденсации паров летучей фракции углеводородов, в частности бензина. Показано, что применение термопрессорной системы позволяет сконденсировать и уменьшить потери паров углеводородов при заправке и хранении.*

**Ключевые слова:** термопрессор – конденсация – потери топлива.

**В.Є. Козут, М.Г. Хмельнюк, Є.Д. Бутовський**

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082

**ОХОЛОДНА СИСТЕМА ДЛЯ КОНДЕНСАЦІЇ ВУГЛЕВОДНІВ У ПОТОЦІ**

*У статті розглядається холодильна система, призначена для конденсації пари летючої фракції вуглеводнів, зокрема бензину. Показано, що застосування термопресорної системи дозволяє сконденсувати і зменшити втрати парів вуглеводнів при заправці та зберіганні.*

**Ключевые слова:** термопресор – конденсація – втрати палива.

**V. Kogut, M. Khmelniuk, I. Butovskyi**

Odessa national academy of food technologies, 1/3 Dvoryanskaya str., Odessa, 65082

**REFRIGERATION SYSTEM FOR CONDENSATION OF HYDROCARBONS IN THE STREAM**

*Refrigeration system designed to condense the hydrocarbons volatile fraction vapors, particularly gasoline, is considered in the article. It is shown that the utilization of the thermopressor system allows condensing and reducing of the hydrocarbon vapors losses during charging and storage.*

**Keywords:** thermopressor – condensation – fuel loss.

**I. ВВЕДЕНИЕ**

На современном этапе развития топливно-энергетического сектора Украины вопросы транспортировки и хранения жидких углеводородов являются актуальными. В Украине при большой доле импортируемых жидких углеводородов свыше 70%, эффективность их использования крайне низкая из-за сильного испарения в окружающую среду и, как следствие, относительные потери при транспортировке и хранении - самые большие в Европе (таблица 1)

Экологические нормативы, принятые в различных странах, устанавливают количество допускаемых выбросов в атмосферу при применении систем улавливания легких фракций не более  $30 \text{ г/м}^3$  переливаемого топлива, что соответствует степени улавливания углеводородов 97...99%. Такую степень очистки можно достичь мембранным, диффузионным методом. Установки по очистке воздуха очень дорогие, требуют дорогих расходных материалов и часто выходят из строя. Реально при переливе жидких углеводородов при температуре окружающей среды от  $15^\circ\text{C}$  до  $30^\circ\text{C}$  потери составляют от  $1 \text{ кг/м}^3$  до  $1.2 \text{ кг/м}^3$ . Потери увеличиваются при

нагреве окружающей среды до более высоких температур. Наиболее актуально этот вопрос стоит в крупных городах, где загрязнение окружающей среды оказывает сильное влияние из-за большой концентрации углеводородов в воздухе.

**Таблица 1** – Виды потерь нефти и нефтепродуктов

Источники потерь	Потери, %
<b>В резервуарах</b>	<b>64,8</b>
в том числе:	
от «больших дыханий»	54,0
от выдуваний	4,6
от газового сифона	0,9
при зачистке	5,3
в насосных станциях	2,3
с канализационными стоками	7,5
В линейной части	23,5
в том числе:	
от утечек	22,3
от аварий	1,2
при наливке железнодорожных цистерн	1,84

Проблема рационального хранения транспортировки и перелива из емкости в емкость жидких углеводородов стоит особенно остро из-за

потерь вызванных процессом испарения топлива. Еще более актуальная проблема при использовании биоэтанольных топлив, где испарение усиливается при изменении температуры окружающей среды. При большой температуре окружающей среды в биоэтанольном топливе испаряются легкокипящие компоненты, и качество топлива ухудшается.

## II. ПОТЕРИ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Один из важных путей экономики топливно-энергетических ресурсов является борьба с потерями нефтепродуктов. Одним из видов потерь жидких углеводородов, полностью не устранимых, являются потери от испарения из резервуаров и других емкостей при хранении и транспортировке. По некоторым информационным данным общие потери распределяются следующим образом:

1. при хранении 37.2%; при железнодорожных и автомобильных перевозках 27.2%;
2. на магистральных трубопроводах – 29.4%.

Потери углеводородов можно характеризовать следующими процессами, которые их вызывают:

1. Потери от насыщения (первое заполнения емкостей);
2. Потери от (больших и малых дыханий) заполнение емкостей и суточное колебание температуры окружающей среды;
3. Потери от (обратного выдоха) выкачки жидких углеводородов;

Выбросы углеводородов в атмосферу при испарении нефтепродуктов из резервуаров особенно большие на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях, а также нефтебазах и автозаправочных станциях (АЗС). Положение усугубляется тем, что иногда необходимо проводить ремонты резервуаров и трубопроводов большого диаметра, в которых находились жидкие углеводороды.

Традиционные методы исчерпали имеющиеся резервы сохранности жидких углеводородов. Для реализации требований по качественной сохранности необходимы принципиально новые подходы, учитывающие требования экологической безопасности. Проблема сохранности нефтепродуктов решается как задача управления теплом конденсации углеводородов в потоке. В качестве управляющего фактора использованы механизмы воздействия на процессы тепломассопереноса в концевых структурах двухфазного потока.

Уменьшение объема выбросов паров углеводородов в атмосферу может быть достигнуто различными путями: улучшение герметизации емкостей; снижение абсолютных значений температуры газового пространства (ГП); уменьшение объема ГП в резервуаре; улавливание углеводородов, образующихся в резервуарах.

Практическая реализация этих путей в виде организационно-технических решений представлена на рисунке 1.

Одним из наиболее перспективных направлений развития средств улавливания углеводородных паров является применение компрессионных систем улавливания легких фракций с использованием жидкостно-газовых струйных аппаратов. В таких системах сжатие паровоздушной смеси происходит за счет энергии высокоскоростных струй рабочей среды, находящейся в различных агрегатных состояниях (жидкость, двухфазная газожидкостная смесь). Эжекторные холодильные системы для улавливания легких фракций углеводородов обеспечивают высокую степень сокращения потерь, обладают малой металлоемкостью и капиталоемкостью, просты и надежны в эксплуатации. Работа эжектора устойчива при значительных колебаниях параметров и фракционного состава отсасываемого газа.



Рисунок 1 – Средства сокращения потерь от испарения (УЛФ – улавливание легких фракций)

## III. ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ КОНДЕНСАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ

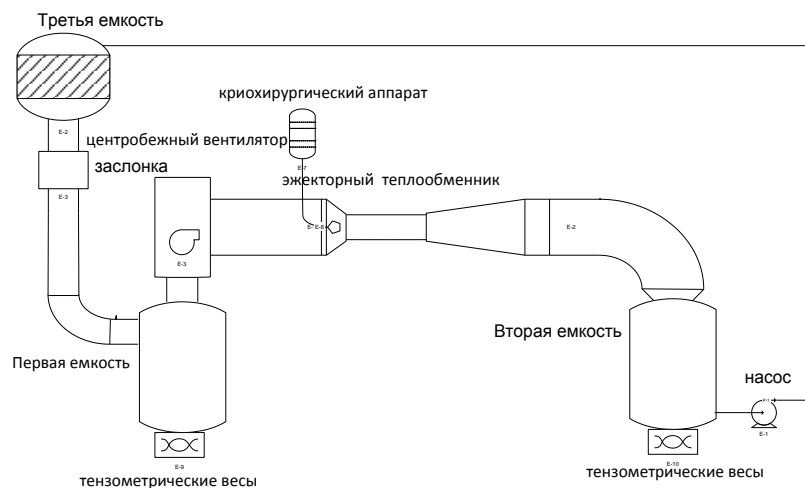
Предложен новый способ конденсации паров углеводородов в потоке – применение термопресорного устройства.

С целью установления зависимостей конденсации углеводородов в конденсаторе эжекторного типа от скорости движения потока и температуры рабочего вещества, было проведено экспериментальное исследование предложенного устройства на спроектированном стенде, имитирующем реальные условия хранения и перелива легкоиспаряющихся топлив на авторемонтном заводе военного ведомства № 46 в городе Одесса на фирме «Инжмаш».

Основная задача эксперимента была подтверждением полной конденсации углеводородов инертным газом в потоке. В основные детали стенда входили три емкости: соединительный трубопровод диаметром 100 мм, эжекторный теплообменник (в первоначальном случае был рассчитан как термопрессор), двое тензометрических весов, насос для перекачивания жидких углеводородов (различных марок бензинов, биоэтанольного топлива и дизельного топлива) и вентилятор во взрывобезопасном исполнении. Две основные емкости были установлены на весы и уравновешены.

Третья подвешена над первой и с первой соединена патрубком, позволяющим сливать жидкие углеводороды из третьей в первую. Из первой и второй емкостей, при помощи насоса, было возможно перекачивать жидкие углеводороды в третью. Первая емкость со второй была соединена трубопроводом, посередине длины участка, которого был установлен эжекторный теплообменник. Перед теплообменником был установлен центробежный вентилятор для увеличения скорости движения паров углеводородов. Между вентилятором и теплообменником предусматривалась зона стабилизации потока. После теплообменника предусматривалось разделительное устройство, позволяющее разделить инертный газ и жидкие углеводороды. В первую емкость было вмонтировано нагревательное устройство. Жидкий азот в теплообменник эжекторного типа подавался

при помощи специального сосуда конструируемого из криохиргического аппарата в импровизированную форсунку капиллярного типа. Скорость движения потока паров углеводородов регулировалась изменением частоты вращения электродвигателя. В работе стенда был задействован измерительный комплекс TESTO-400, позволяющий проводить замеры температур, расхода, скоростей потока и весовые изменения. Первая и вторая емкости были объемом по 200 литров, третья – 30 литров. Производительность насоса 10 литров в минуту. Скорость нагнетаемого вентилятором потока до 30 метров в секунду. Подвод электроэнергии осуществлялся в защитном рукаве, а электродвигатели были с искрогасителями. Основной прибор измерительного комплекса был вынесен в отдельное помещение. В опыте рабочим веществом был инертный газ азот в жидком состоянии до 1 литра и конденсируемые углеводороды (различные марки бензинов, биоэтанольного топлива и дизельного топлива) в жидком состоянии до 30 литров. Подогрев углеводородов не проводился выше 45 градусов Цельсия. Меры безопасности были выдержаны. Условия эксперимента соответствовали условиям работы заправочной станции. Режимы работы и производительность по улавливанию углеводородов имитировались с существующим устройством мембранного типа, собирающего в специальную емкость пары углеводородов на заправочной станции в Германии.



**Рисунок 2** – Экспериментальный стенд холодильной системы конденсации углеводородов в потоке.

Гипотеза применения теплообменника эжекторного типа для конденсации углеводородов проверялась следующими способами:

- 1) в ускоренный поток паров углеводородов впрыскивался жидкий азот с температурой  $-193^{\circ}\text{C}$ .
- 2) поток паров загофицированного азота с температурой  $-70^{\circ}\text{C}$  эжектировал поток паров углеводородов, при чем поток паров азота

создавал скорость движения до теплообменника эжектора 25 м/с.

- 3) Ускоренный поток углеводородов эжектировал поток паров загофицированного азота с температурой  $-120^{\circ}\text{C}$ .

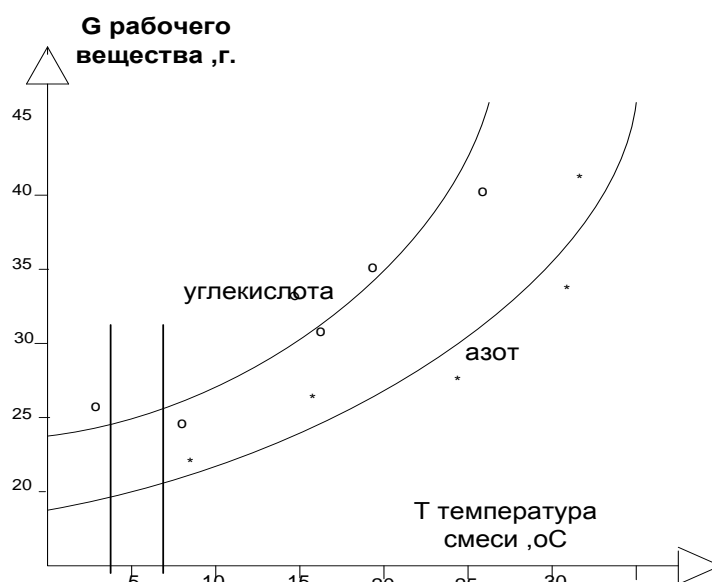
- 4) Кроме рабочего вещества азота была применена углекислота с использованием открытого цикла.

Опыты проводились, при параметрах соответствующих углекислотному циклу, а в испытательном стенде задействовали форсунку с подключением к линии жидкой углекислоты.

Методика эксперимента сводилась к следующему: достигалось полная конденсация углеводородов (весовая единица измерения 100 гр. конденсируемых углеводородов), при этом определялась количество жидкого рабочего вещества необходимого для конденсации.

Скорость потока в теплообменнике эжекторного типа была подобрана и соответствует числу Маха  $M = 0,3$  г). Начальная температура смеси (топлива) соответствует 25-45°C.

На рисунке 3 приведены кривые изменения количества рабочего вещества (азот, углекислота) в зависимости от температуры в камере конденсации термопрессора, при которой наблюдается полная конденсация топлива (100 г).



**Рисунок 3** – Зависимость изменения количества рабочего вещества от температуры в термопрессоре.

Результаты эксперимента показали, что для бензина обычных марок температура конденсации лежит в диапазоне  $(-7 - -4)^{\circ}\text{C}$ , зависимости от времени года и марки топлива.

По теплофизическим характеристикам топлива, температура конденсации легкокипящих фракций углеводородов по данным фирм производителей находятся в диапазоне  $(15-25^{\circ}\text{C})$ . Экспериментально определено, что быстрое выпадение конденсата топлива из воздуха происходит тогда, когда жидкость переохлаждена

на  $(15-20^{\circ}\text{C})$ , а воздух значительно перегрет. Применение теплообменного аппарата термопрессорного типа ускоряет и улучшает теплообмен между рабочим веществом и смесью воздуха с углеводородами.

Испарения легкокипящих фракций топлива при полукрытой системе хранения при достижении температуры верхнего диапазона увеличивается в 1,5-1,7 раза, а при достижении нижнего замедляется.

**Таблица 2** – Экспериментальные данные по температурным режимам топлива.

	Бензины обычных марок	Дизельное топливо(летнее)	Биоэтанольное топливо
Температура окружающей среды наиболее влияющая на испарение топлива	30-40°C	40-45°C	25-35°C
Температура окружающей среды не влияющая на испарение топлива	15-20°C	25-30°C	10-20°C

#### IV. ВЫВОДЫ

Научно-прикладная проблема решалась как задача управления теплом конденсации углеводородов в потоке. В качестве управляющего фактора использованы механизмы воздействия на процессы тепломассопереноса в концевых структурах двухфазного потока. Исследование включало анализ проблемы в практике эксплуатации и проектировании систем сохранения жидких углеводородов при транспортировке и переливе из емкости в емкость.

Применение жидкого азота для конденсации углеводородов из воздуха выгодно при его расходе от 20 до 40 грамм на 100 грамм конденсируемого топлива. Рыночные стоимости жидкого азота значительно ниже стоимости углеводородов, в особенности бензина. Применение рабочего вещества – углекислоты увеличивает стоимость разделения смеси в два раза и соизмерима с обычным машинным холодильным методом.

Результаты подтвердили возможность охлаждения потока смеси воздуха с углеводородами азотом и углекислотой в теплообменнике эжекторного типа для конденсации углеводородов различных марок бензинов, биоэтанольного топлива и дизельного топлива, а потом их разделения. Применение этого метода обеспечивает экологическую безопасность от попадания в атмосферу углеводородов и пожарную безопасность при перегрузке. Важным фактором является уменьшение испарения составляющих компонентов из биоэтанольного топлива, что обеспечивает не только сохранность, но и качественные показатели смеси.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Draft Zambian Standart, Transportation pipeline systems for liquid hydrocarbons, Code of Practice, Zambia, 2007.
2. **Абузова Ф.Ф.** и др. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении – М., Недра, 1981. – 248 с.
3. **Когут В.Е., Хмельнюк М.Г.** Вопросы сохранности при транспортировке и хранении нефтепродуктов // «Вестник Национального университета кораблестроения», 2010.
4. **Рачевский Б.С.** Сжиженные углеводородные газы, 2009.
5. **Блинев И.Г., Герасимов В.В.** и др. Перспективные методы сокращения потерь нефтепродуктов от испарения в резервуарах – М., Энефтехим. – 2001.

#### REFERENCES

1. Draft Zambian Standart, Transportation pipeline systems for liquid hydrocarbons, Code of Practice, Zambia, 2007.
2. **Abuzova F.F.** i dr. Borba s poteryami nefiti i nefteproduktov pri ikh transportirovke i khraneni – M., Nedra, 1981. – 248 s.
3. **Kogut V., Khmelniuk M.** Voprosi sokhrannosti pri transportirovke i khraneni nefteproduktov // Vestnik natsionalnogo universiteta korablestroeniya, 2010.
4. **Rachevsky B.S.** Szhizhennie uglerodnie gazi, 2009
5. **Blinev I.G., Gerasimov V.V.** i dr. Perspektivniye metodi sokrascheniya poter nefteproduktov ot ispareniya v rezervuarakh – M., Eneftekhim. – 2001.

---

Получена в редакции 26.09.2013, принята к печати 14.10.2013